



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов

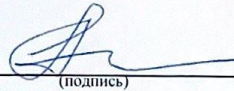
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Прогноз метеорологических параметров на аэродроме Стригино
(г. Нижний Новгород) на основе прогностических моделей»

Исполнитель Фролова Анна Алексеевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)
Волобуева Ольга Васильевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой



(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 29 » мая 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	2
1 ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА АТМОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ.....	4
1.1 Историческая справка о создании гидродинамического прогноза погоды.....	4
1.2 Основа гидродинамических моделей прогноза погоды	7
1.3 Прогноз метеорологических элементов в пунктах по модельным данным	9
1.4 Качество прогнозов	10
2 АНАЛИЗ УСПЕШНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЯМИ COSMO-RU И HRES.....	12
2.1 Анализ успешности прогнозов метеорологических параметров моделью COSMO-RU	12
2.1.1 Скорость ветра	12
2.1.2 Направление ветра	19
2.1.3 Наличие конвективной облачности	25
2.1.4 Наличие осадков и их интенсивность.....	29
2.2 Анализ успешности прогнозов метеорологических параметров моделью HRES	32
2.2.1 Скорость ветра	32
2.2.2 Направление ветра	38
2.2.3 Осадки	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	47

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: исследование успешности прогнозов метеорологических параметров моделью COSMO-RU за период 05.04.2021 – 31.12.2021 гг. и HRES за период 10.04.2021 – 31.12.2021 гг. для метеорологического обеспечения аэродрома Стригино, г. Нижний Новгород.

Задачи:

- создать архив данных о фактических метеорологических параметрах атмосферы на аэродроме Стригино за исследуемый период;

- создать архив прогнозов модели COSMO-RU с сайта Росгидромета России по выбранным метеорологическим параметрам за исследуемый период;

- создать архив прогнозов модели HRES с сайта Yr.no по выбранным метеорологическим параметрам за исследуемый период;

- оценить успешность прогнозов каждой модели.

В данной работе исследуются:

1. Прогнозы модели COSMO-RU следующих метеорологических параметров:

- скорость ветра
- направление ветра
- наличие конвективной облачности
- наличие и интенсивность осадков

2. Прогнозы модели HRES следующих метеорологических параметров:

- скорость ветра
- направление ветра
- наличие и интенсивность осадков

Исследуются два вида прогнозов:

1. Численный, где прогноз представлен как численное значение метеорологической характеристики

2. Прогноз наличия или отсутствия метеорологического явления

Оправдавшимся считает прогноз, если его численное значение отличается от фактического значения метеорологического параметра не более, чем на установленное пороговое допустимое значение разницы между прогнозируемой и фактической величинами данного параметра, при условии, что прогноз численный. Также оправдавшимся является прогноз, если в метеорологический срок прогнозировалось наличие (или отсутствие) явления и в тот же срок было зафиксировано наличие (или отсутствие) этого явления.

Оценка успешности производится путем подсчёта отношения числа оправдавшихся прогнозов к общему числу прогнозов.

1 ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА АТМОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ

1.1 Историческая справка о создании гидродинамического прогноза погоды

Издревле человечество волновал прогноз погоды. Сначала это были примитивные догадки по собственным ощущениям, затем люди придумали различные приборы для измерения метеорологических характеристик. К XIX веку ученые научились составлять карты, на которые наносили точки с одинаковыми параметрами, после чего соединяли их линиями. Прогноз все еще был основан на личном опыте, ощущениях.

В XIX-XX веке активно изучалась динамика атмосферы, то, по каким признакам движутся воздушные массы. Появился математический подход к изучению атмосферы. Норвежский ученый Вильгельм Бьеркнес разделил поставленную задачу прогнозирования на два этапа – первый заключался в определении текущего состояния атмосферы, второй – в прогнозировании с использованием законов движения.

В это же время решалась проблема сбора данных с верхних слоев атмосферы и с океана – разрабатывалась международная программа сбора данных.

Бьеркнес предложил систему уравнений, где каждое уравнение описывало зависимую переменную состояния атмосферы (это температура, давление, плотность, влажность и три компоненты скорости воздушных потоков (x, y, z)). Система выглядела так:

- Уравнение состояния
- Уравнение неразрывности
- Уравнения, описывающие I и II закон термодинамики
- Три гидродинамических уравнения

Бьеркнес разработал систему численного и графического решения системы. Основным смыслом его работы выступила идея сделать метеорологию настоящей отдельной наукой.

В XX веке английский ученый Льюис Ричардсон пытался решить систему уравнений Бьеркнеса. Далее в своих трудах он высказывает мысль о том, что по текущему и предыдущему состоянию погоды можно делать прогнозирование: «Прогноз основан на суперпозиции того, что с атмосферой происходило раньше, и что будет происходить теперь. Старая история атмосферы используется, скажем так, как полноценная рабочая модель текущего состояния».

Но позже Ричардсон вернулся к идеям Бьеркнеса: «Будет безопасно утверждать, что точная диспозиция звезд, планет и спутников никогда не повторяется дважды. Тогда почему мы должны думать, что текущая карта погоды может быть представлена в каталогах старой погоды.

В 1913 году Ричардсон уже работал над алгоритмами прогнозирования и пришел к тому, что системе Бьеркнеса нужны упрощения – гидростатические допущения, а также должны быть преобразованы к такому виду, чтобы можно было вычислить приближенное значение.

Основная идея была – задавать текущее состояние погоды с помощью основных характеристик, разложенных по широте, долготе и высоте (то есть в узлах постоянной сетки). Далее прогноз делался на время $t+\delta t$, $t+2\delta t$ и т.д., где t – текущее время.

В то время это были очень энергоемкие вычисления, сложно поддающиеся человеку. Ричардсон говорил: «Когда-нибудь, в далеком будущем будет возможность вычисления быстрее, чем меняется погода... Но это лишь мечта».

В наше время прогнозы вычислительных машин в многом основаны на алгоритмах Ричардсона.

Уже в 50-60 годах 20-го столетия Джон Фон Нейман разработал вычислительную машину, которая смогла реализовать алгоритмы Ричардсона

для прогнозирования. Началась работа по усовершенствованию машины, ведь она не могла преобразовывать векторные величины в скалярные и имела временные ограничения, то есть не позволяла использовать длинные временные отрезки, что изначально предполагалось Ричардсоном.

В процессе решения данных задач ученые приходили даже к тому, что они пытались успеть за погодой – прогнозирование погоды на 24 часа вперед занимало те самые 24 часа.

В 1951 году Карл-Хайнс Хинкельманн решил поставленную задачу с применением интеграции примитивных уравнений. Применение этих уравнений показало хорошие результаты и в 1966 году в Национальном Метеорологическом Центре в Вашингтоне была представлена модель, основанная на шестиуровневой системе примитивных уравнений. Благодаря этой модели точность прогнозов стала выше.

В дальнейшем разрабатывались различные модели, основанные на различных предположениях и допущениях.

Впервые долгосрочное прогнозирование было описано в 1956 году Н. А. Филлипсом – долгосрочное моделирование общей циркуляции атмосферы, в котором он опирался на двухуровневую квазигеострофическую модель. Работа потрясла мир в последующие десятилетия было осуществлено множество исследований в области моделирования общей циркуляции атмосферы.

В дальнейшем, в 1990-х - начале 2000-х, повышали качество метеорологических прогнозов приземного пространства, стали прогнозировать осадки. По мере развития электронно-вычислительной техники происходил переход к все более и более высокому географическому разрешению - нужно было подробнее описывать физические процессы, происходящие в атмосфере. В связи с этим последнее десятилетие все большее внимание уделялось параметризации пограничного, приземного слоев: исследовались свойства подстилающей поверхности, ее вклад в радиационные процессы, во влаго- и теплообмен с атмосферой.

1.2 Основа гидродинамических моделей прогноза атмосферных параметров

Любая гидродинамическая модель погоды основана на решении основной системы уравнений, которая описывает изменение параметров атмосферы с течением времени. В эту систему входят:

- 3 уравнения движения, с помощью которых рассчитываются компоненты скорости ветра
- уравнение неразрывности (или же уравнение сохранения массы)
- уравнение притока тепла
- уравнение баланса влаги

На территорию, для которой прогнозируются метеорологические параметры, накладывается прогностическая сетка, пересечениями линий называются узлы сетки. Система уравнений записывается в узлах сетки модели для дальнейшего численного решения.

Сетки имеют географическое или же пространственное и временное разрешение.

В географическом смысле сетки могут быть равномерные и неравномерные. Равномерные имеют одинаковое расстояние (шаг) между узлами. Чаще всего это расстояние измеряется в километрах. Шагом по пространству называют пространственным или географическим разрешением прогностической модели. Различают горизонтальное и вертикальное разрешение модели. Вертикальное разрешение измеряется в уровнях, обычно расстояние между уровнями около поверхности земли меньше, нежели расстояние между уровнями в свободной атмосфере, таким образом сетка может быть одновременно равномерной по горизонтали и неравномерной по вертикали.

Для различных применений требуются разные вариации разрешения прогностической сетки - горизонтальные координаты сетки могут представляться, например, в виде высоты над средним уровнем моря,

измеряемой в гПа, или в метрах над земной поверхностью, вертикальные координаты могут быть представлены широтно-долготной сеткой, различными проекциями, например, меркаторской, и др.

Временной шаг определяет временное разрешение модели – он может быть от 10 минут до нескольких секунд. Время расчета прогноза зависит от географического разрешения: для моделей с географическим разрешением 100 км шаг по времени составит примерно 5-8 минут, для моделей с географическим разрешением 15 км - не более 2 минут.

Такие системы включают в себя уравнения, имеющие прогностическую и диагностическую части. С их помощью рассчитываются будущие (прогностические) состояния атмосферы из соотношений между различными параметрами.

Используемая в модели система определяет возможность описывать те или иные физические процессы, например пространственного масштаба: общие процессы циркуляции (глобальные макромасштабные), процессы синоптического масштаба, микромасштабные процессы. Так, в моделях общециркуляционного и синоптического масштаба используются 2 из 3 уравнения движения, интегрируются только горизонтальные компоненты скорости. Принимается постоянная величина плотности воздуха, то есть изменение плотности со временем равно 0, атмосфера считается квазигидростатичной - система упрощается. Также упрощаются те члены уравнений, порядок которых существенно ниже (на 2-3 порядка) основных слагаемых величин. В моделях с таким набором уравнений не используется маленький шаг по пространству, ведь система ограничена в возможности описания процессов "подсеточного масштаба" (Процессы подсеточного масштаба - те процессы, пространственное разрешение которых меньше одного шага модели по пространству.) Такие модели предназначены для долгосрочных прогнозов, для исследования климата; модели синоптического масштаба используются для прогноза эволюции синоптических объектов

(например, антициклонов, циклонов), размеры которых составляют сотни, тысячи километров.

В мезосмасштабных моделях используются все 3 уравнения движения, по отношению к вертикальной компоненте скорости ветра записывается уравнение изменения по времени. Плотность воздуха считается переменным параметром, атмосфера сжимаема. Такие модели предназначены для прогноза процессов, в которых вертикальные и горизонтальные движения имеют равнозначные роли (например, конвективные явления, атмосферные вихри). Обычно прогнозы таких моделей краткосрочны.

1.3 Прогноз метеорологических элементов в пунктах по модельным данным

Численный прогноз метеорологических параметров и явлений в пунктах определяется по прогностическим данным, которые рассчитываются в узлах и всецело образуют прогностические поля. Для разных местностей с различными географическими и геофизическими особенностями (например, холмистая местность, побережье моря или океана, склоны гор и т.д.) подбираются разные физико-статистические методы интерпретации прогноза.

Немаловажную роль играет взаиморасположение пункта прогноза и окружающих узлов сетки. Понятно, что для пунктов, равноудаленных от 4-х окружающих узлов сетки (рис. 1.1, пункт 1) прогноз будет менее успешным (оправданным), нежели для пункта, который находится в непосредственной близости к одному из узлов сетки или даже попадает в него (рис.1.1, пункт 2).

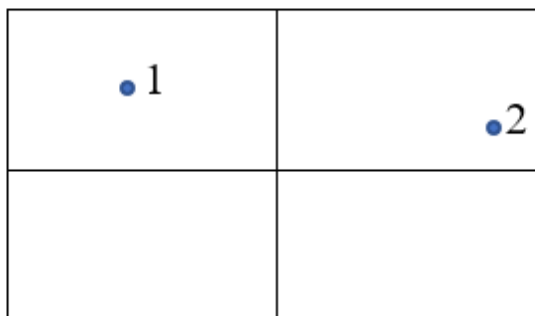


Рисунок 1.1 – взаиморасположение пунктов прогноза (1 и 2) и узлов прогностической модельной сетки

1.4 Качество прогнозов.

Качество прогноза зависит от метода расчета метеовеличины и от того, насколько применим тот или иной метод для каждой отдельной территории. Для некоторого количества метеорологических параметров (например, температура воздуха у поверхности земли, скорость и направление ветра на уровне 10 метров и др.) ведется расчет диагностических соотношений, которые представлены физико-математическими формулами. Для других параметров, которые чаще являются результатов физических процессов, (например, водосодержание облаков, МДВ, влажность почвы и др.) рассчитываются физические и физико-статистические соотношения, которые подбираются с учетом географической особенности определенного региона. Обычно эти операции выполняют специалисты региональных центров подведомственных территорий.

Качество прогноза зависит не только от качества начальных и модельных данных и удаленности пункта прогноза от узла сетки, но и от встроенного метода прогноза метеовеличин, от степени применимости этого метода для определенных физико-географических условий; также качество зависит от реализации программно-технических комплексов (например, ГИС-Метео).

У всех моделей погоды встроена своя система интерполяции прогноза в пункты, и, так как у каждой модели своя прогностическая сетка, нельзя достоверно знать, учитывается ли, например, высота пункта прогноза, поэтому, прежде чем применять ту или иную модель для составления своего прогноза, стоит провести проверку и дать оценку успешности прогнозов для определенного пункта. В этой ситуации важно, чтобы в пункте проводились наблюдения, если же они не проводятся, то необходимо выбрать ближайший пункт, в котором проводятся наблюдения. При этом необходимо учесть физико-географические особенности местности и расстояния от каждого пункта до узлов сетки выбранной прогностической модели погоды [1].

2 АНАЛИЗ УСПЕШНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЯМИ COSMO-RU И HRES

2.1 Анализ успешности прогнозов метеорологических параметров моделью COSMO-RU

Модель COSMO-RU была выбрана для оценки успешности прогноза метеорологических величин, так как она рекомендована центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиофизическим прогнозам (ЦМКП) для составления прогнозов [3].

Консорциум COSMO создан в 1998 году Германией, Италией, Грецией и Швейцарией, в последующем были приняты Польша, Россия, Румыния и Израиль. Изначально модель базировалась на немецкой модели Local Model, затем, чтобы подчеркнуть вклад каждой страны консорциума, было изменено название на COSMO.

Моделью пользуются примерно в 30 странах мира, страны-члены консорциума могут использовать модель COSMO для любых научных, оперативных и коммерческих приложений.

Для территории Европы и Западной Сибири модель COSMO 22-уровневая с пространственным разрешением 7 км [4].

С использованием созданных архивов данных прогнозов модели COSMO-RU и фактических данных по АМЦ Стригино (г. Нижний Новгород) были посчитаны успешности прогнозов следующих метеорологических параметров:

2.1.1 Скорость ветра.

На метеограммах модели COSMO-RU скорость ветра определяется по оперению: выделенная область на рисунке 2.1.

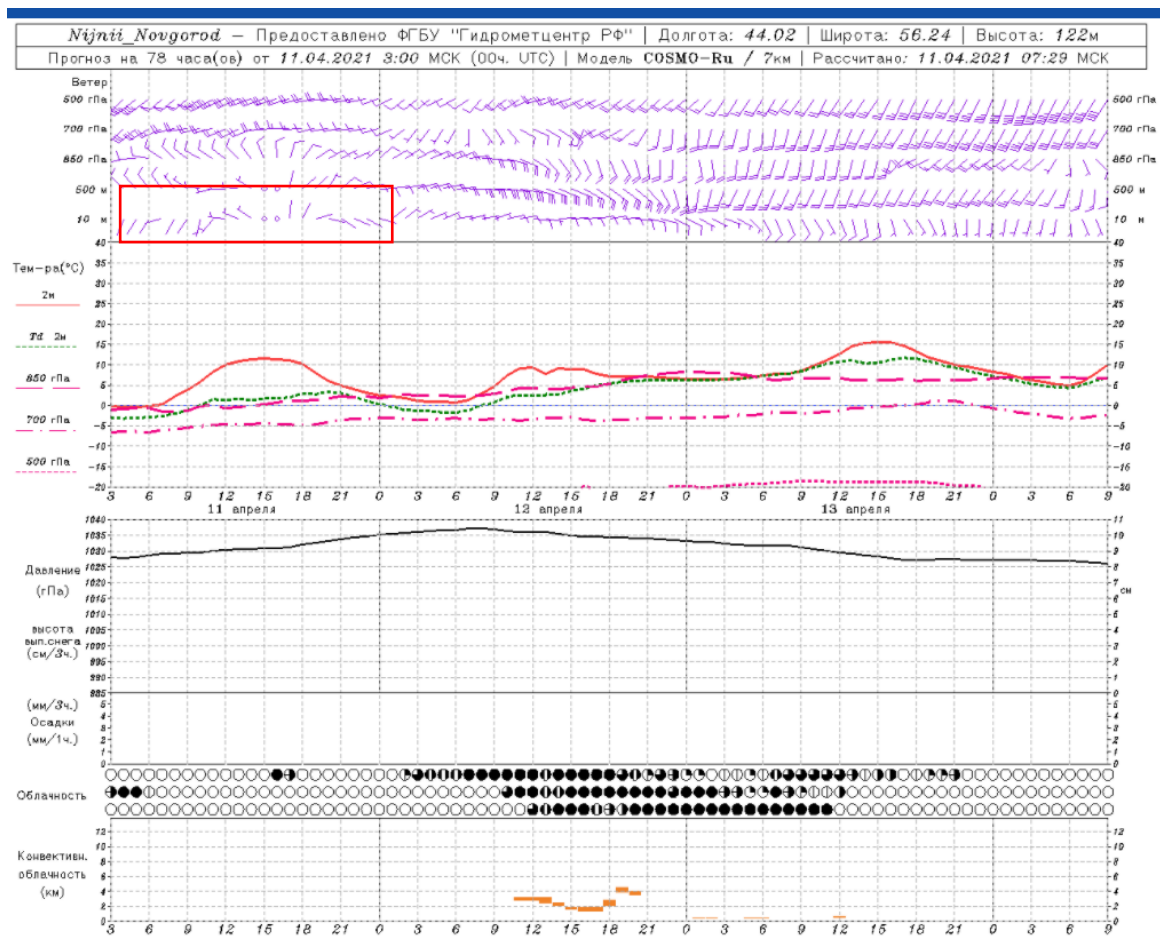


Рисунок 2.1 – Прогноз скорости ветра моделью COSMO-RU

Отсутствие пера – штиль, отсутствие оперения принято за 1 м/с, малое оперение – 3 м/с, большое оперение – 6 м/с, совокупность малого и большого оперения – 8 м/с, совокупность двух бошьших оперений – 11 м/с.

Был посчитан модуль разности между значениями спрогнозированной величины и значения фактической скорости ветра по формуле:

$$\Delta = |n_{\text{п}} - n_{\text{ф}}|, \quad (2.1)$$

- где: $n_{\text{п}}$ – Значение спрогнозированной скорости ветра
 $n_{\text{ф}}$ – Значение фактической скорости ветра

В авиации хорошим прогнозом скорости ветра считается тот прогноз, у которого разность по модулю с фактической скоростью ветра не превышает 3 м/с, поэтому прогнозы, у которых $\Delta=[0; 3]$ м/с, были приняты за успешные прогнозы. Если $\Delta > 3$ м/с, то прогноз считается ошибочным.

По полученным данным построен график зависимости распределения значения модуля разницы между спрогнозированной и фактической скоростями ветра от величины спрогнозированной скорости ветра (рисунок 2.2).

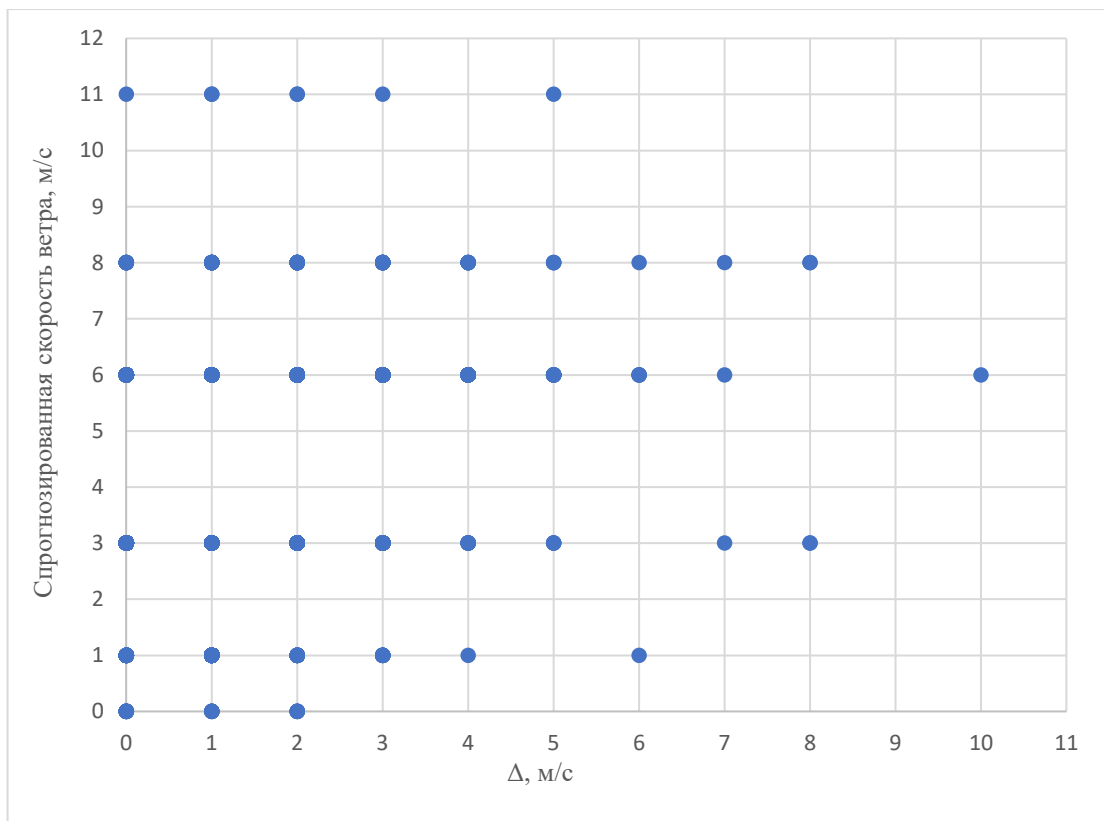


Рисунок 2.2 – Зависимость распределения значения модуля разницы между спрогнозированной и фактической скоростями ветра от величины спрогнозированной скорости ветра

Данный график показывает, что величина ошибки прогнозирования не зависит от прогнозируемой величины, то есть можно говорить, что нет такого

значения скорости ветра, прогнозируя которое, модель постоянно бы ошибалась.

Максимальная ошибка составила 10 м/с при прогнозируемой величине в 6 м/с.

Большая часть точек на графике находится в промежутке $\Delta = [0; 3]$ м/с, то есть можно сделать вывод, что в целом скорость ветра данной моделью прогнозируется на хорошем уровне. Для расчета успешности прогноза посчитано отношение количества прогнозов с ошибкой $\Delta = [0; 3]$ к количеству прогнозов с ошибкой $\Delta = [4; 10]$: 1685:109.

Была рассчитана успешность прогнозов p по формуле:

$$p = (n_{0-3}/N)*100\%, \quad (2.2)$$

где: n_{0-3} – количество прогнозов с ошибкой от 0 м/с до 3 м/с
 N – общее число прогнозов

Таким образом, прогнозов с ошибкой $\Delta = [0; 3]$ составило 93,9%. То есть можно говорить, что прогноз скорости ветра у данной модели на уровне хороших прогнозов.

Также была построена таблица, в которой отражено количество успешных и недостаточно успешных прогнозов на каждый исследуемый срок прогноза (таблица 2.1)

Из таблицы видно, что после того, как значение разницы между прогнозируемой и фактической величинами скорости ветра становится равным 4 м/с и более, количество прогнозов становится очень мало в сравнении с общим количеством прогнозов за исследуемый срок (всего за каждый срок было 256 прогнозов).

Таблица 2.1 – Успешность прогнозов за каждый исследуемый метеорологический срок

Срок Δ , м/с	00	03	06	09	12	15	18
0	49	63	50	60	56	50	49
1	129	103	111	84	94	100	94
2	46	47	64	68	57	50	50
3	26	34	22	23	26	34	44
4	4	7	6	14	13	16	15
5	1	2	1	4	6	4	2
6	0	0	1	2	1	1	1
7	0	0	0	1	1	0	1
8	1	0	1	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1	0	0
р, ед.	0,977	0,965	0,965	0,918	0,910	0,914	0,926
р, %	97,7	96,5	96,5	91,8	91,0	91,4	92,6

Ошибка в 10 м/с наблюдается при прогнозе на 12 часов ВСВ.

20.05.2021 г. моделью COSMO-RU был дан следующий прогноз (рисунок 2.3): скорость ветра в 12 часов ВСВ (в 15 часов по местному времени) по прогнозу составит 6 м/с.

20.05.2021 г. в 12 часов ВСВ на аэродроме Стригино (г.Нижний Новгород), было зафиксировано значение скорости ветра, равное 10 м/с, также был зафиксирован порыв, равный 16 м/с (рисунок 2.4). Как видно из фактических данных, в течение дня не раз были зафиксированы значения как скорости ветра, так и порывы ветра с высокими скоростями, в то время как модель на это день спрогнозировала значения от 3 до 8 м/с.

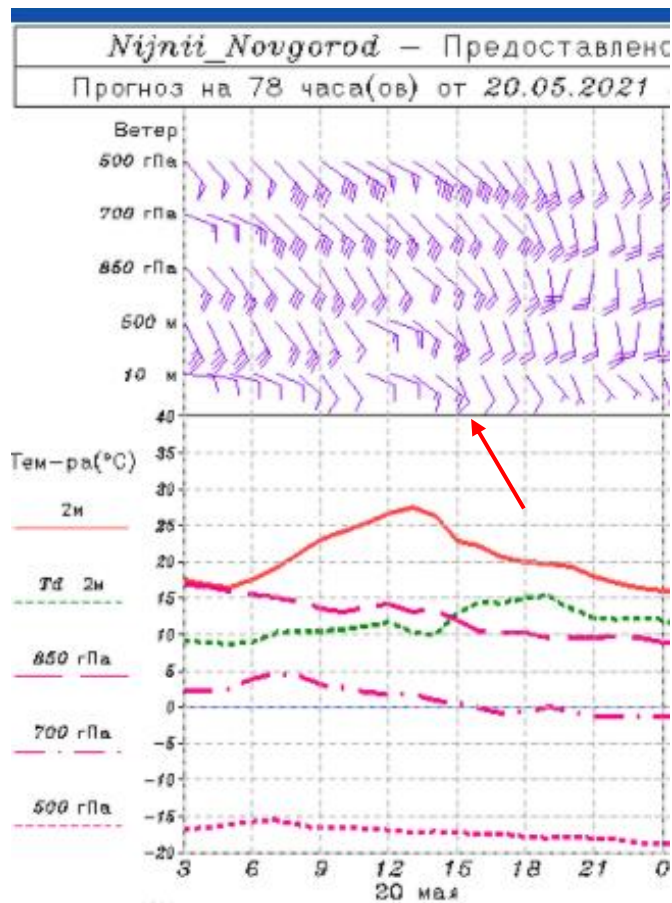


Рисунок 2.3 – Метеограмма модели COSMO-RU с прогнозом на 20.05.2021 г.

11:53 СП	170	6	10		9999 9999 9999	0 День		-TSRA	7/6	СВ	600 6990	21.2	14.4	65	16.4	747.4 996.5 1005.7			179	R18L/ 290050	TEMPO I2008G15MPS
11:54 СП	160	7	10		9999 9999 3700	0 День		-TSRA	7/6	СВ	330 6990	21	14.2	65	16.2	747.5 996.6 1005.8			179	R18L/ 290050	TEMPO I2008G15MPS
11:56 СП	160	8	14		9999 9000 900	0 День	900	+TSRA	7/6	СВ	330 6990	20.5	14.2	67	16.2	747.6 996.8 1006			179	R18L/ 290050	TEMPO I2008G15MPS
11:59 СП	160	9	16		9999 800 500	0 День	800 500	+TSRA	7/6	СВ	330 6990	19.1	13.9	72	15.9	747.7 996.9 1006.1			179	R18L/ 290050	TEMPO I2008G15MPS
12:00	160	10	16		9000 900 350	0 День	900 375	+TSRA	7/6	СВ	330 6990	19	14.3	74	16.3	747.7 996.9 1006.1	0.7 (5)		179	R18L/ 290050	TEMPO I2008G15MPS
12:01 СП	150	9	14		5000 1500 1500	0 День	1500 1500	TSRA	7/6	СВ	330 6990	18.3	14.6	79	16.6	747.8 997.1 1006.3			179	R18L/ 290250	NOSIG
12:02 СП	150	9	13		6000 2500 1600	V День	1600	TSRA	7/6	СВ	330 6990	18.2	14.7	80	16.7	747.9 997.2 1006.4			179	R18L/ 290250	NOSIG

Рисунок 2.4 – Фрагмент данных о фактической погоде по данным

АМЦ Стригино (г. Нижний Новгород) за 20.05.2021 г.

Чтобы понять, почему модель могла спрогнозировать низкие скорости ветра нужно проанализировать синоптическую обстановку в этот день. Для

этого были использованы карты приземного анализа с сайта Гидрометцентра России за 20.05.2021 г. за 12 ВСВ (рисунок 2.5) [2].

Как видно, Нижний Новгород находится в системе полярного фронта, моделью были недооценены конвективные шквалы, которые характерны при грозах.

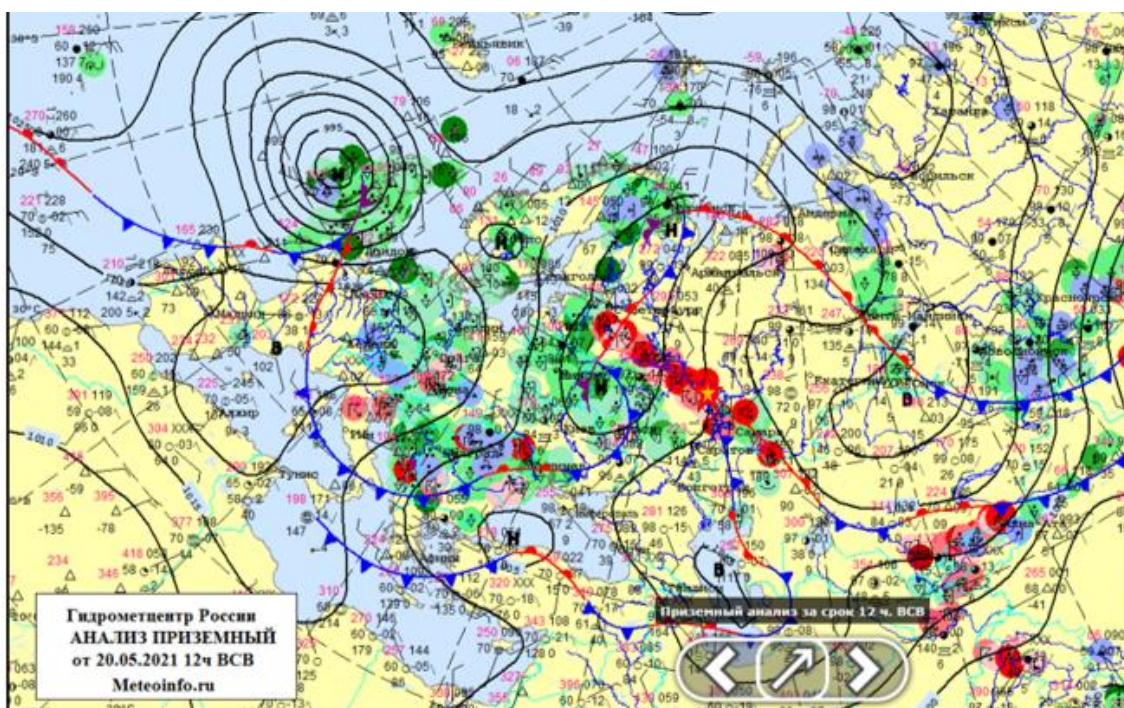


Рисунок 2.5 - Приземный анализ от 20.05.2021 12 ВСВ

2.1.2 Направление ветра

На метеограммах модели COSMO-RU (рисунок 2.6) направление ветра определяется по отклонению оперения от северного направления (0°).

За каждый исследуемый метеорологический срок было считано прогнозируемое направление ветра с точностью 10° . Те сроки, в которые прогнозировался штиль, приняты во внимание не были.

Взлетно-посадочная полоса на аэродроме Стригино расположена в направлении 0° - 180° , поэтому северные и южные направления ветра являются встречными и попутными, а западные и восточные направления – боковыми.

Условно встречным и попутным направлением ветра являются ветра СЗ-СВ и ЮВ-ЮЗ направлений, а ветра СВ-ЮВ и ЮЗ-СЗ можно условно считать ветрами боковых направлений.

Авиационный прогноз направления ветра считается успешным, если разница между спрогнозированным и фактическим направлениями ветра не превышает 20° (т.е. $\Delta = [0^\circ-20^\circ]$).

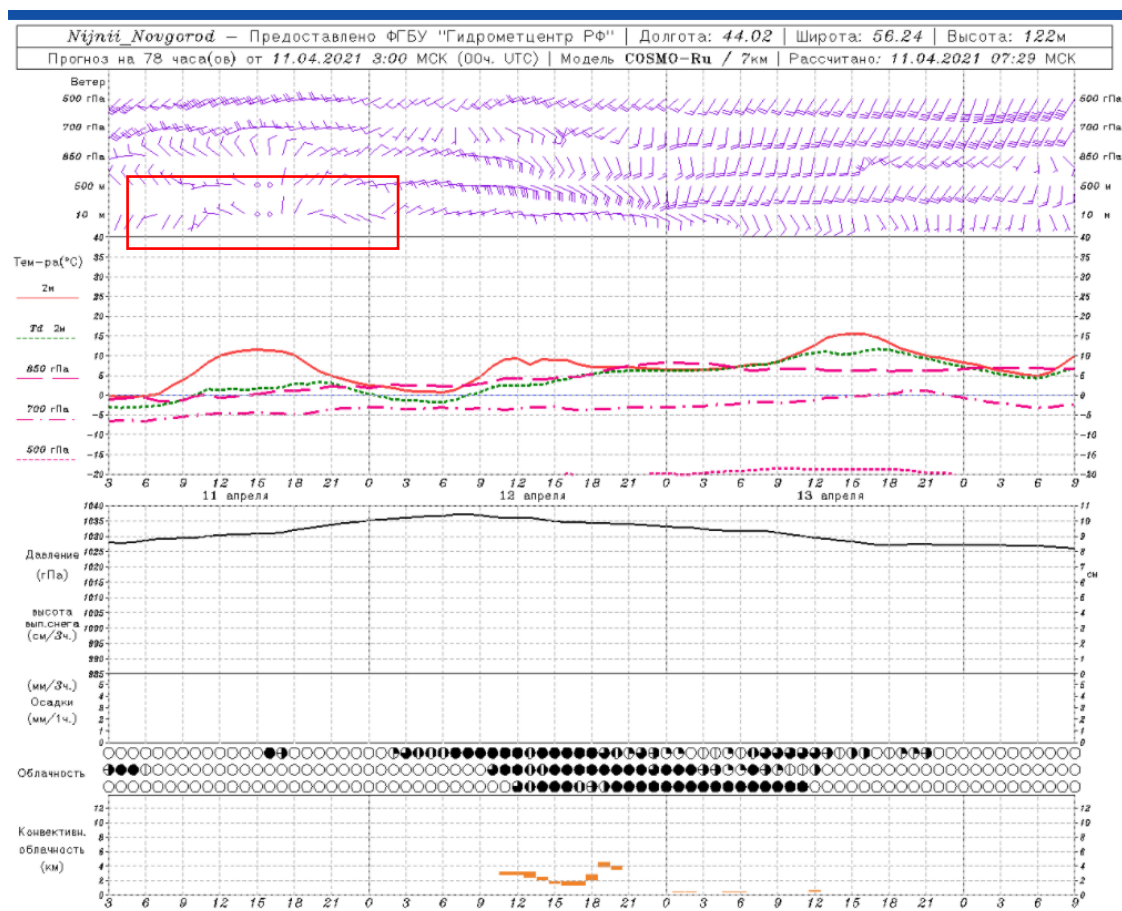


Рисунок 2.6 – Прогноз направления ветра моделью COSMO-RU

Опираясь на данную информацию, направления ветра $1-360^\circ$ были поделены на интервалы: $315^\circ - 045^\circ$, $045^\circ - 135^\circ$, $135^\circ - 225^\circ$, $225^\circ - 315^\circ$, данные интервалы подобраны с учетом расположения ВПП так, чтобы два интервала включали в себя встречные и попутные направления ($315^\circ - 045^\circ$ и

135° - 225°), а два интервала включали боковые направления ветра (045° - 135° и 225° - 315°).

На основе прогнозируемых направлений ветра и фактических данных построена матрица сопряженности (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Матрица сопряженности прогнозов направлений ветра

	Прогноз					
		315°-045°	045°-135°	135°-225°	225°-315°	
Факт	315°-045°	157	59	10	25	251
	045°-135°	11	235	42	7	295
	135°-225°	13	44	376	189	622
	225°-315°	74	8	23	333	438
		255	346	451	554	1606

В данной матрице собрано число случаев прогноза направлений, попадающих в один из 4-х интервалов и число случаев фактически наблюдавшегося направления ветра в тот же срок. Наибольшее значение в любом интервале наблюдается по главной диагонали, что говорит об относительной успешности прогноза. Можно заметить, что наибольшее число фактически наблюдавшихся направлений принадлежит интервалу 135° - 225°, а наибольшее число прогнозов принадлежит интервалу 225° - 315°. В 189 случаях модель спрогнозировала направление 225°-315° в то время, как фактически ветер наблюдался 135°-225°, то есть спрогнозированное направление было более боковым, нежели фактическое (ошибка страховки).

В процессе построения матрицы выяснилось, что с ее помощью нельзя рассчитать успешность прогноза, так как достаточно часто наблюдались случаи, когда разница между прогнозируемым и фактическим значениями скорости ветра была менее 20°, но одно значение было меньше, чем значение

разделения интервалов, а второе больше (то есть $\Delta < 20^\circ$, но данная пара прогноз-факт не заносилась на главную диагональ, т.е. прогноз считался ошибочным). Так, например, было 26.10.2021 г., это отражено в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Данные прогнозируемого и фактического направлений ветра, разницы между ними и значение элемента матрицы сопряженности данного прогноза

	Срок						
	0	03	06	09	12	15	18
П	240	230	240	240	230	230	230
Ф	210	210	220	220	210	210	220
Δ	30	20	20	20	20	20	10
Элемент матрицы	43	43	43	43	43	43	43

Как видно из таблицы 2.3, 6 из 7 прогнозов были успешными, но значения прогноза и факта разделены значениями раздела интервала, поэтому все прогнозы за этот день не были занесены на главную диагональ матрицы (успешность прогнозов за 26.10.2021 составила 85,7%).

Поскольку данная матричная система не может дать характеристику качества прогноза, был построен график зависимости распределения значения модуля разницы между спрогнозированным и фактическим направлениями ветра от величины спрогнозированного направления ветра (рисунок 2.7).

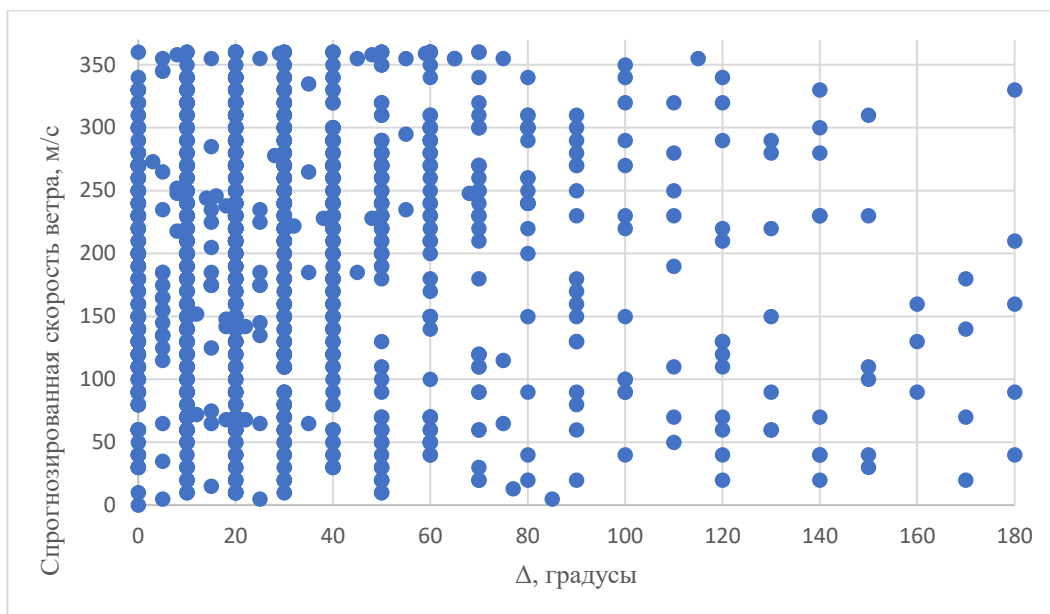


Рисунок 2.7 – Зависимость распределения значения модуля разницы между спрогнозированным и фактическим направлениями ветра от величины спрогнозированного направления ветра

Данный график показывает, что величина ошибки прогнозирования не зависит от прогнозируемой величины.

Максимальные ошибки прогноза составили 180° при прогнозируемых 40° , 90° , 160° , 210° , 330° .

Ошибочное направление 330° было спрогнозировано 23.06.2021 г.

Из приземного анализа за 22.06.2021г. за 00 ВСВ (рисунок 2.8) видно, что г. Нижний Новгород находился в зоне антициклона. При смещении холодного фронта с СЗ, модель спрогнозировала ССЗ направление ветра (330° градусов) [2].

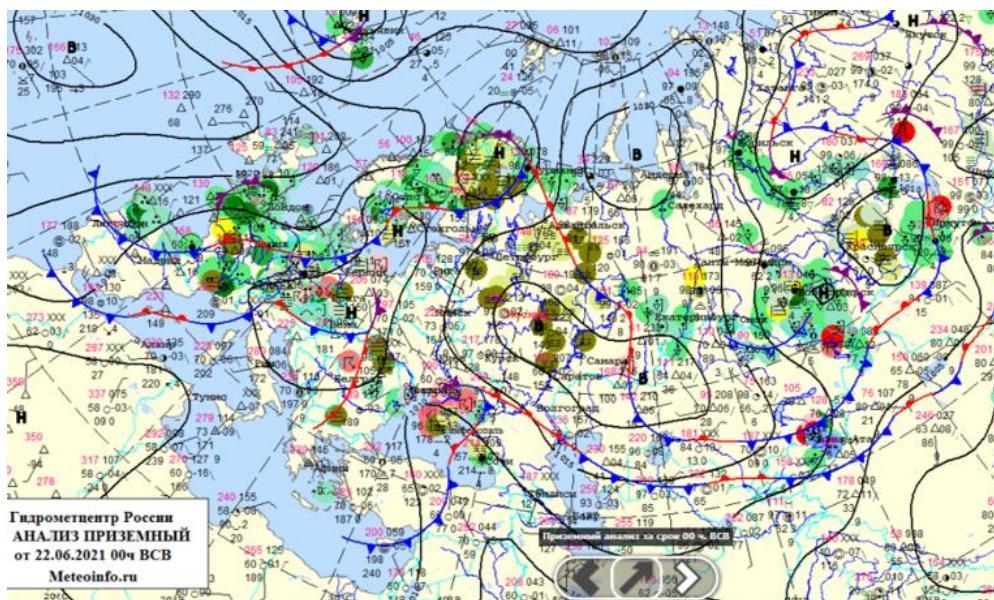


Рисунок 2.8 – Приземный анализ от 22.06.2021 00 ВСВ

Из приземного анализа от 23.06.2021 г. за 00 ВСВ (рисунок 2.9) видно, что г. Нижний Новгород находился в центре антициклона, а холодный фронт сместился восточнее. Южное направление ветра обусловлено прохождением теплового фронта южнее.

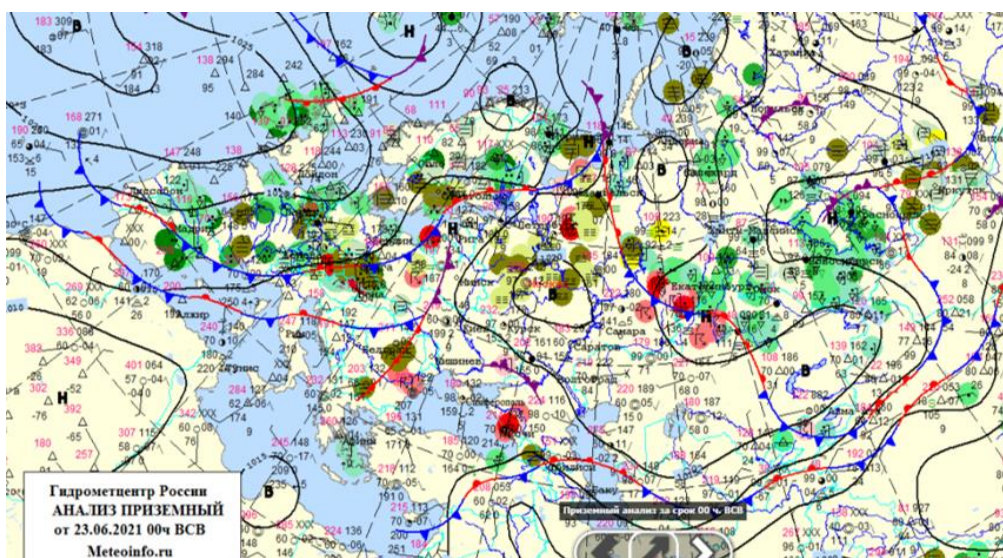


Рисунок 2.9 – Приземный анализ от 23.06.2021 00 ВСВ

За весь исследуемый период было проанализировано 1606 прогнозов направления ветра, из них 945 были с ошибкой $\Delta \leq 20^\circ$ и 661 прогноз был с ошибкой $\Delta > 20^\circ$.

Далее была посчитана успешность прогноза направления ветра p по формуле:

$$p = (n_{0-20}/N)*100\%, \quad (2.3)$$

где: n_{0-20} – количество прогнозов с ошибкой от 0° до 20°

N – общее число прогнозов

Успешность прогнозов направления ветра за весь исследуемый период составила 58,8%. Прогнозы направления ветра моделью COSMO-RU на уровне недостаточно успешных прогнозов.

2.1.3 Наличие конвективной облачности

На метеограммах модели COSMO-RU наличие конвективной облачности (рисунок 2.10) определяется по оранжевым отметкам (нижняя и верхняя границы облачности).

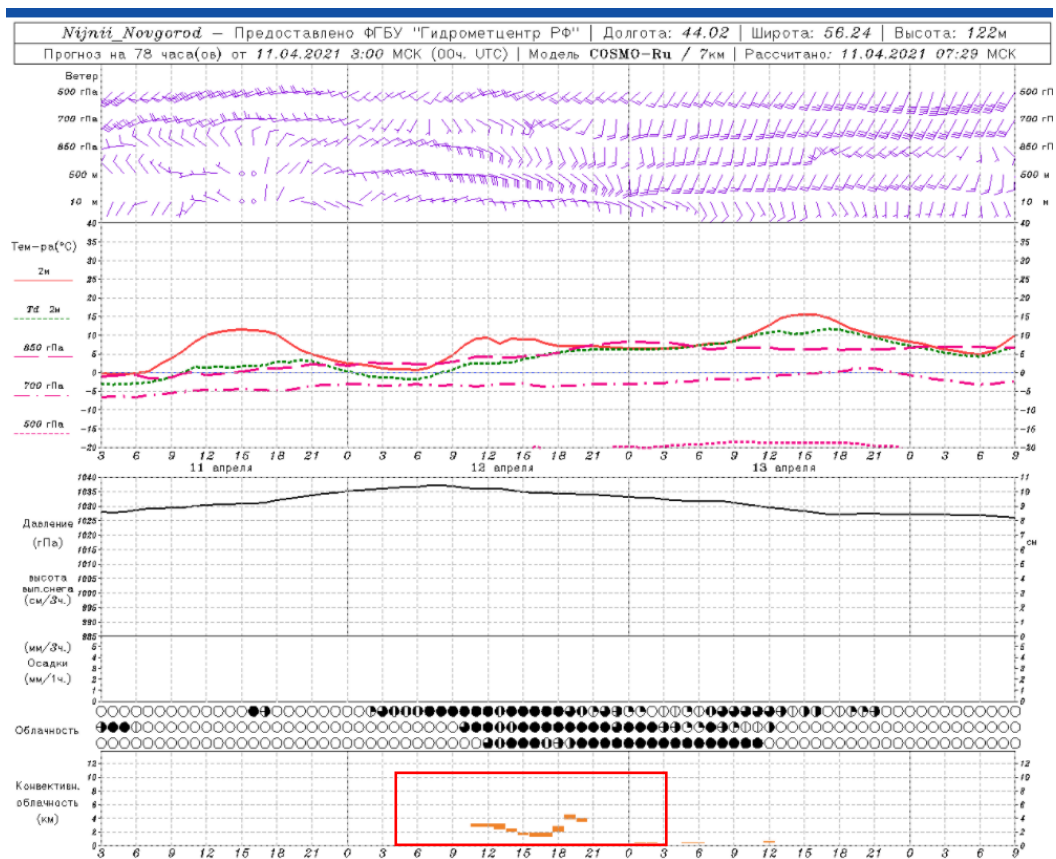


Рисунок 2.10 – Прогноз конвективной облачности
 моделью COSMO-RU

Прогностические и фактические данные о конвективной облачности были зафиксированы как наличие и отсутствие явления. На основе этих данных были построены матрицы – одна обобщенная матрица (таблица 2.4), которая включает в себя все сроки прогнозов за весь исследуемый период и 7 матриц (таблицы 2.5 – 2.11), где каждая включает в себя 256 прогнозов за каждый метеорологический срок – 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 ВСВ.

Таблица 2.4 – Матрица сопряженности прогноза конвективной облачности за весь исследуемый период

	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	140	35	175
$\bar{\Phi}$	716	901	1617
	856	936	1792

Из матрицы видно, модель часто дает прогноз переставочные прогнозы явления – из 856 прогнозов 716 являются ошибками-страховками, при этом ошибок-пропусков мало – 35 ошибок на 936 прогнозов.

Если рассмотреть детальнее матрицы для каждого метеорологического срока, то станет понятно, что независимо от заблаговременности прогноза модель чаще дает ошибки- страховки, чем ошибки-пропуски.

Таблица 2.5 – Матрица сопряженности прогноза конвективной облачности за срок прогноза 00 ВСВ

	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	7	3	10
$\bar{\Phi}$	60	186	246
	67	189	256

Таблица 2.6 – Матрица сопряженности прогноза конвективной облачности за срок прогноза 03 ВСВ

	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	11	3	14
$\bar{\Phi}$	93	149	242
	104	152	256

Таблица 2.7 – Матрица сопряженности прогноза конвективной облачности за срок прогноза 06 ВСВ

	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	11	2	13
$\bar{\Phi}$	106	137	243
	117	139	256

Таблица 2.8 – Матрица сопряженности прогноза конвективной облачности за срок прогноза 09ч ВСВ

	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	25	5	30
$\bar{\Phi}$	135	91	226
	160	96	256

Таблица 2.9 – Матрица сопряженности прогноза наличия конвективной облачности за срок прогноза 12 ВСВ

	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	38	8	46
$\bar{\Phi}$	111	99	210
	149	107	256

Таблица 2.10 – Матрица сопряженности прогноза наличия конвективной облачности за срок прогноза 15 ВСВ

	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	34	5	39
$\bar{\Phi}$	112	105	217
	146	110	256

Таблица 2.11 – Матрица сопряженности прогноза наличия конвективной облачности за срок прогноза 18 ВСВ

	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	13	9	22
$\bar{\Phi}$	100	134	234
	113	143	256

С помощью матриц была рассчитана общая оправдываемость прогнозов p как для всего исследуемого периода, так и для каждого метеорологического срока отдельно, по формуле 2.4:

$$p = (n_{11}+n_{22})/N, \quad (2.4)$$

где: n_{11} – элемент 11 матрицы сопряженности
 n_{22} – элемент 22 матрицы сопряженности
 N – общее число прогнозов

Результаты данных расчетов представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Результаты исследования успешности прогнозов конвективной облачности

Срок	0	03	06	09	12	15	18	Весь период
p, ед.	0,754	0,625	0,578	0,453	0,535	0,543	0,574	0,581
p, %	75,4	62,5	57,8	45,3	53,5	54,3	57,4	58,1

Общая оправдываемость прогнозов составила 58,1%, что обусловлено большим количеством ошибок-страховок. Самая высокая успешность прогнозов наличия конвективной облачности составила 75,4% за срок 00 ВСВ, что все равно не является высоким показателем.

2.1.4 Наличие осадков и их интенсивность

На метеограммах модели COSMO-RU осадки определяются по зеленым и синим (жидкая и твердая фаза) отметкам (выделенная область), также над столбиком осадков указывается цифрами интенсивность осадков в мм/3ч (рисунок 2.11).

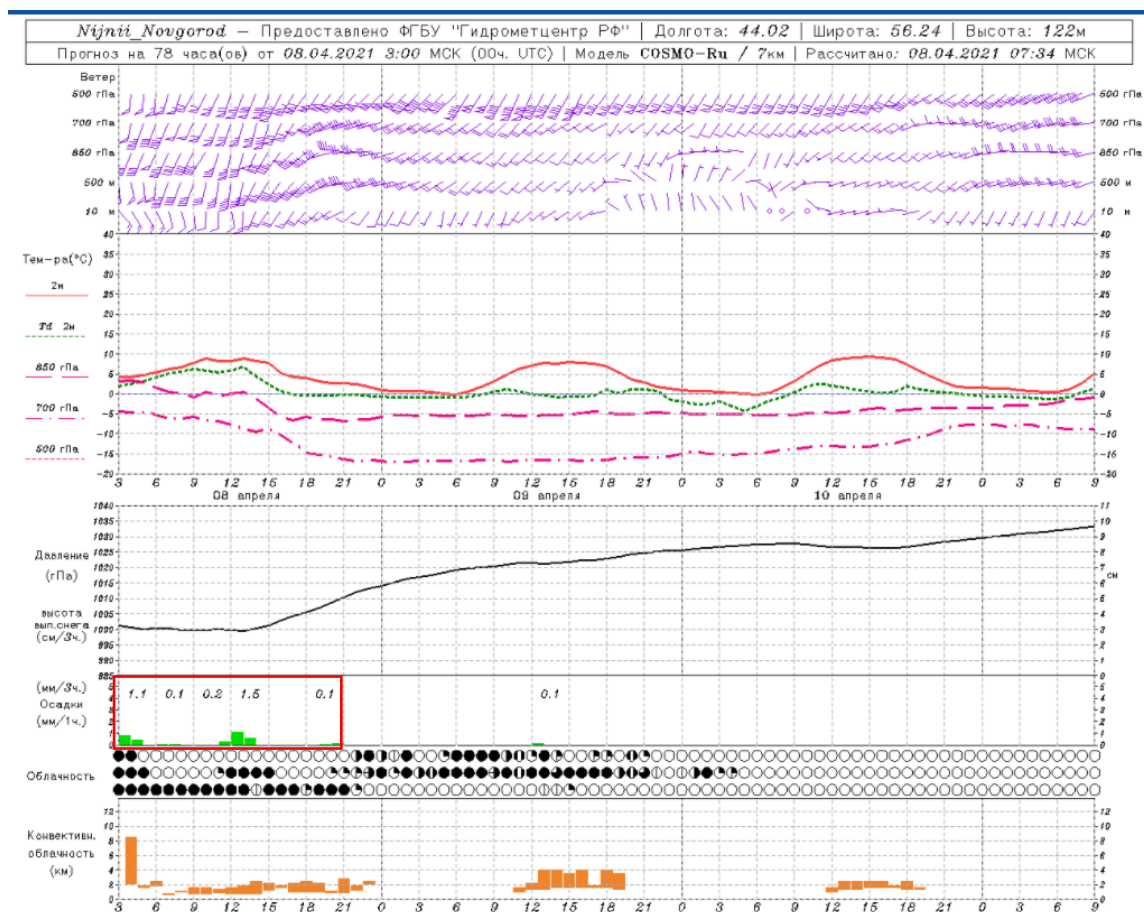


Рисунок 2.11 - Прогноз наличия и интенсивности осадков моделью COSMO-RU (выделено)

Интенсивность осадков была поделена на следующие градации:

- 0–2,5 мм/ч – слабые
- 2,5–10 мм/ч – умеренные
- > 10 мм/ч – сильные

Далее по полученным данным была построена матрица многофазовых прогнозов (таблица 2.13)

Из матрицы видно, что из 527 прогнозов слабых осадков 320 были страховочными, а также из 13 прогнозов умеренных осадков 2 были страховочными. 11 раз были спрогнозированы слабые осадки при фактических умеренных, а также 5 раз был дан прогноз слабых осадков при фактических сильных. При этом 9 раз были спрогнозированы умеренные

осадки при фактических слабых. Сильные осадки модель не спрогнозировала ни разу, фактически они наблюдались 5 раз.

Таблица 2.13 – Матрица сопряженности многофазовых прогнозов интенсивности осадков моделью COSMO-RU

	Слабые	Умеренные	Сильные	\bar{P}	
Слабые	191	9	0	42	242
Умеренные	11	2	0	0	13
Сильные	5	0	0	0	5
$\bar{\phi}$	320	2	0	1210	1532
	527	13	0	1252	1792

Ошибок-пропусков не так много: 42 раза модель спрогнозировала отсутствие осадков, когда они фактически наблюдались (слабой интенсивности). В целом отсутствие явления и слабую фазу осадков модель прогнозирует хорошо.

Был посчитан коэффициент общей оправдываемости прогнозов p по формуле (2.5)

$$p = (n_{11} + n_{22} + n_{33} + n_{44}) / N, \quad (2.5)$$

- где: n_{11} – элемент 11 матрицы сопряженности многофазовых прогнозов
 n_{22} – элемент 22 матрицы сопряженности многофазовых прогнозов
 n_{33} – элемент 33 матрицы сопряженности многофазовых прогнозов
 n_{44} – элемент 44 матрицы сопряженности многофазовых прогнозов
 N – общее число прогнозов

Общая оправдываемость прогнозов наличия и интенсивности осадков составила 79,7%, что является хорошим результатом.

Модель часто дает страховочный прогноз, но в целом наличие осадков прогнозирует хорошо. Лучше прогнозируются слабые осадки, хуже умеренные, так как модель занижает интенсивность осадков. Сильные осадки модель не спрогнозировала ни разу.

2.2 Анализ успешности прогнозов метеорологических параметров моделью HRES

Модель HRES была выбрана для анализа по просьбе авиационного метеорологического центра Стригино [5].

HRES - модель погоды от Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), адаптированная для детализации прогноза состояния атмосферы на 10 дней. Пространственное разрешение модели 9 км [6].

С использованием собранного архива данных прогнозов модели HRES и фактических данных, были посчитаны успешности прогнозов следующих метеорологических параметров:

2.2.1 Скорость ветра

На метеограммах модели HRES скорость ветра (выделенная область) определяется по оперению (рисунок 2.13)

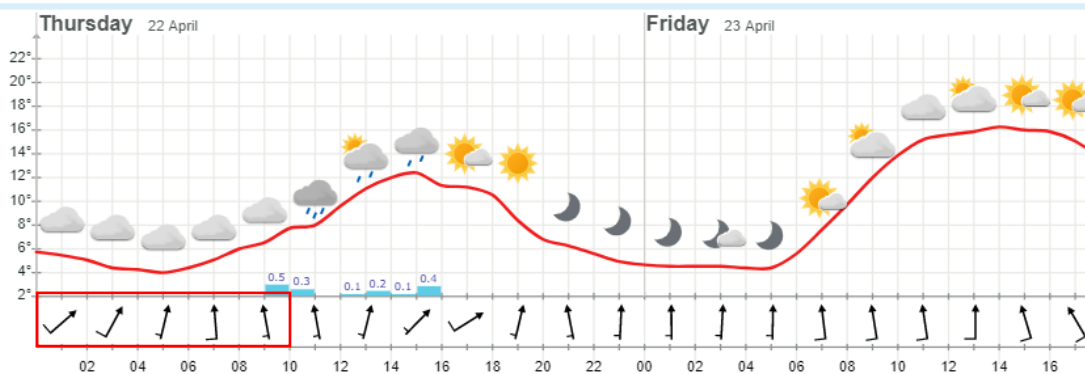


Рисунок 2.13 – Прогноз скорости ветра моделью HRES

На рисунке 2.13 отсутствие пера – штиль, отсутствие оперения принято за 1 м/с, малое оперение – 3 м/с, большое оперение – 6 м/с, совокупность малого и большого оперения – 8 м/с, совокупность двух бошьших оперений – 11 м/с.

Был посчитан модуль разности между значениями спрогнозированной величины и значениями фактической скорости ветра по формуле:

$$\Delta = |n_{п} - n_{ф}|, \quad (2.6)$$

где: $n_{п}$ – значение спрогнозированной скорости ветра
 $n_{ф}$ – значение фактической скорости ветра

По полученным данным построен график зависимости распределения значения модуля разницы между спрогнозированной и фактической скоростями ветра от величины спрогнозированной скорости ветра (рисунок 2.14).

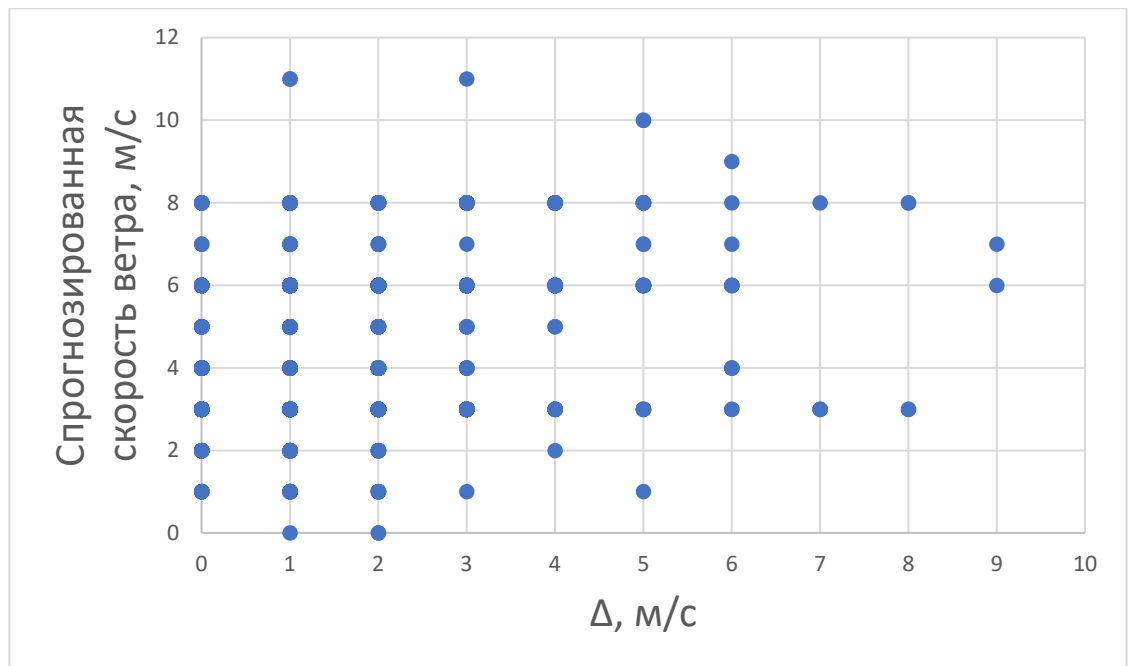


Рисунок 2.14 – Зависимость распределения значения модуля разницы между спрогнозированной и фактической скоростями ветра от величины спрогнозированной скорости ветра

Данный график показывает, что величина ошибки прогнозирования не зависит от прогнозируемой величины, то есть можно говорить, что нет такого значения скорости ветра, прогнозируя которое, модель постоянно бы ошибалась.

Максимальная ошибка составила 9 м/с при прогнозируемых величинах в 6 и 7 м/с.

Большая часть точек на графике (рисунок 2.14) находится в промежутке $\Delta = [0; 3]$ м/с, то есть можно сделать вывод, что в целом скорость ветра данной моделью прогнозируется на хорошем уровне.

Для расчета успешности прогноза посчитано отношение количества прогнозов с ошибкой $\Delta = [0; 3]$ к количеству прогнозов с ошибкой $\Delta = [4; 10]$: 1559:135.

Была рассчитана успешность прогнозов по формуле 2.7:

$$p = (n_{0-3}/N) * 100\% \quad (2.7)$$

где: n_{0-3} – количество прогнозов с ошибкой от 0 м/с до 3 м/с
 N – общее число прогнозов

Таким образом, прогнозов с ошибкой $\Delta = [0; 3]$ составило 92%. То есть можно говорить, что прогноз скорости ветра у данной модели на уровне хороших прогнозов.

Также была построена таблица, в которой отражено количество успешных и недостаточно успешных прогнозов на каждый исследуемый срок прогноза (таблица 2.14).

Из таблицы видно, что после того, как значение разницы между прогнозируемой и фактической величинами скорости ветра становится равным 4 м/с и более, количества прогнозов становится в разы меньше в сравнении с количеством успешных прогнозов. Сама большая ошибка $\Delta = 9$ м/с наблюдается при прогнозах на 15 и 18 часов.

Таблица 2.14 – Успешность прогнозов за каждый исследуемый метеорологический срок

		Срок						
		0	03	06	09	12	15	18
Δ	0	36	52	57	54	47	51	38
	1	77	71	93	96	91	75	78
	2	62	70	61	57	59	48	44
	3	56	39	24	16	28	32	47
	4	6	6	6	15	6	20	21
	5	1	3	2	3	6	11	6
	6	2	2	0	2	2	2	3
	7	1	0	1	2	0	0	0
	8	1	0	0	1	2	0	0
	9	0	0	0	0	0	1	1
p , ед.		0,955	0,955	0,963	0,907	0,934	0,858	0,870
p , %		95,5	95,5	96,3	90,7	93,4	85,8	87,0

Ошибка в 9 м/с наблюдается при прогнозе на 18 ВСВ 25.04.2021 г. Моделью HRES был дан следующий прогноз (рисунок 2.15): скорость ветра в 18 ВСВ (21 час по местному времени) по прогнозу составит 6 м/с.

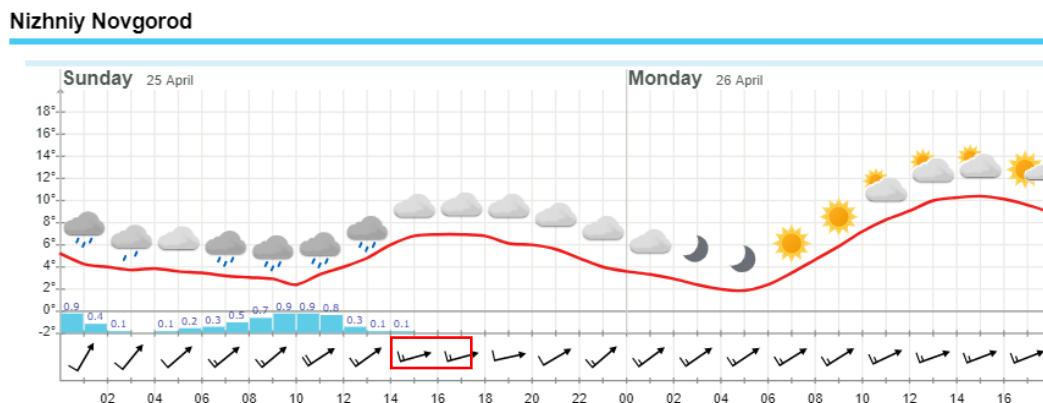


Рисунок 2.15 – Метеограмма модели HRES с прогнозом на 25.04.2021 г.

На аэродроме Стригино 25.04.2021 г. была зафиксирована скорость ветра, равная 10 м/с, также был зафиксирован порыв ветра 15 м/с (рисунок 2.16)

17:31 СП	250	7	13			9999 9999 9999	0 Ночь		-RA	8/8		600
17:49 СП	230	7	10			9999 9999 9999	0 Ночь		-RA	8/8		630
17:50 СП	240	8	12			9999 9999 9999	0 Ночь		-RA	8/8		630
18:00	250	10	15			9999 9999 9999	0 Ночь		-RA	8/8		630
18:18 СП	240	8	15			9999 9999 9999	0 Ночь		-RA	8/8		630
18:22 СП	250	9	15			9999 9999 9999	0 Ночь		-RA	8/8		630
18:24 СП	240	9	13			9999 9999 9999	0 Ночь			8/8		630
18:30	250	8	12			9999 9999 9999	0 Ночь			8/8		630
18:50 СП	240	8	12			9999 9999 9999	0 Ночь			8/8		750
18:56 СП	230	10	13			9999 9999 9999	0 Ночь			8/8		750

Рисунок 2.16 – Фрагмент данных с аэродрома Стригино (г. Нижний Новгород) за 25.04.2021 г.

Как видно из таблицы (рисунок 2.16), в течение дня на аэродроме Стригино 25.04.2021 г. постоянно фиксировались значения как скорости ветра, так и порывы ветра с высокими значениями, модель на этот день спрогнозировала значения от 6 до 11 м/с.

Чтобы понять, почему модель занизила прогностические значения скорости ветра, нужно изучить синоптическую обстановку в эту и предшествующую даты [2].

Проанализировав приземные синоптические карты за 24.05.2021 г. за 12 ВСВ (рисунки 2.17, 2.18) Нижний Новгород находился в теплом секторе циклона перед линией холодного фронта. 25.04 пункт оказался за холодным фронтом в зоне сгущения изобар. По спрогнозированным данным видно, что

моделью не было предусмотрено такое изменение барического поля, вследствие чего она давала прогноз более низких скоростей ветра.

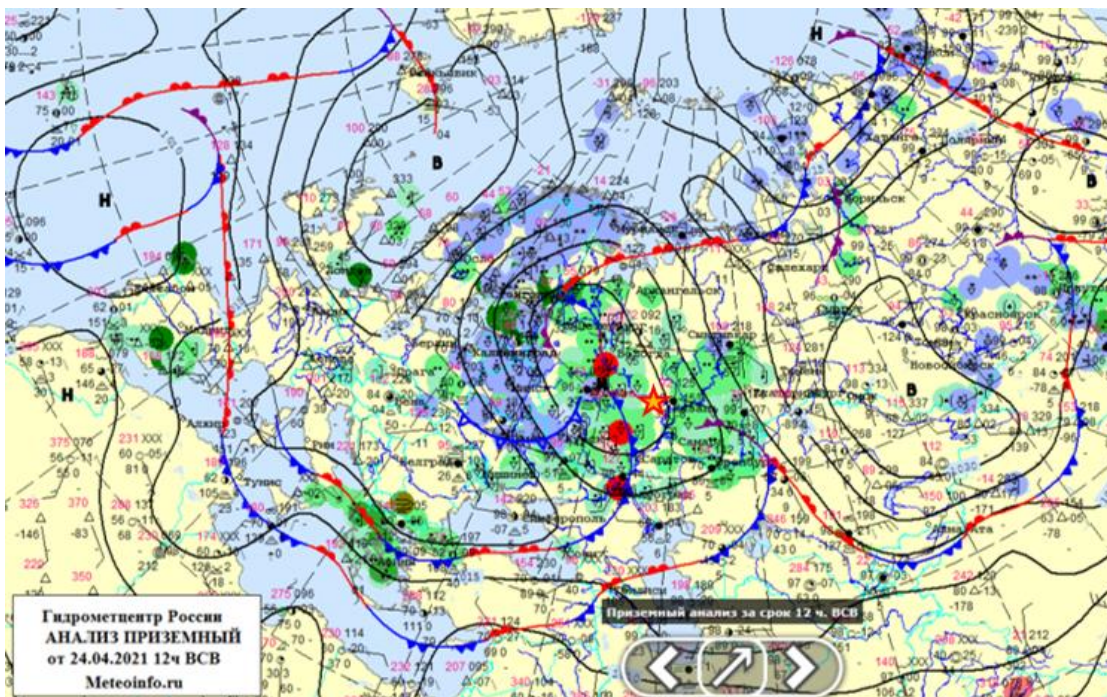


Рисунок 2.17 - Приземный анализ от 24.04.2021 12 ВСВ

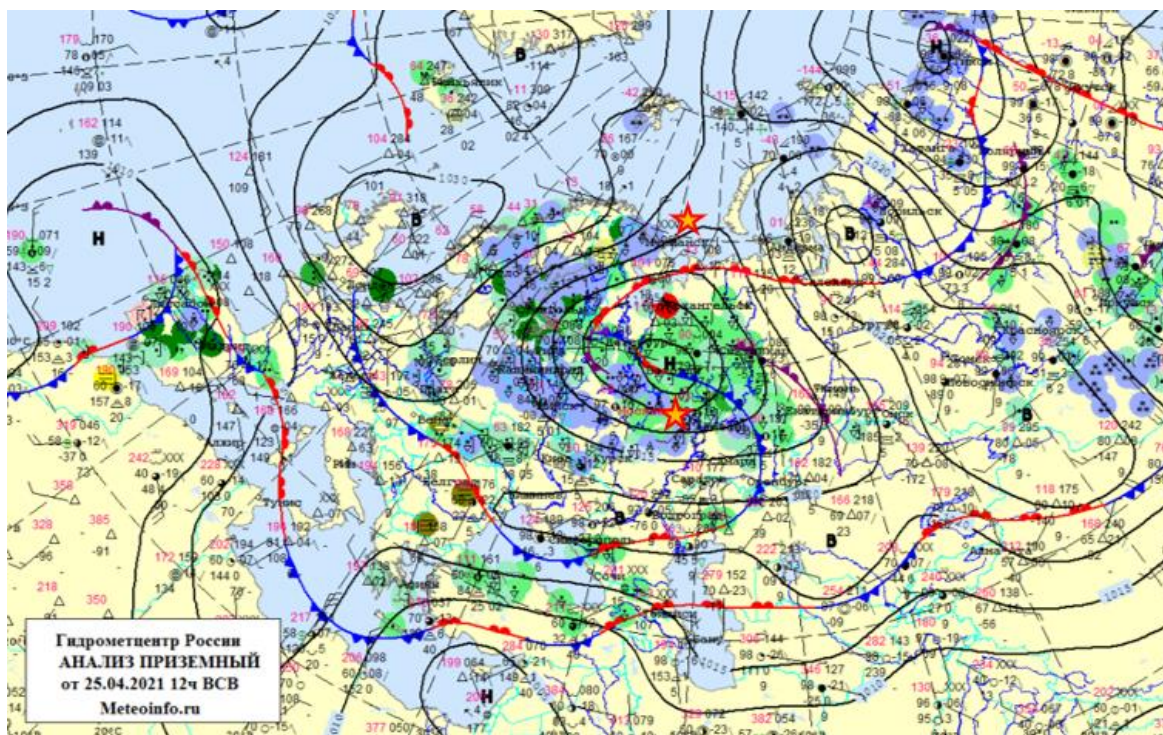


Рисунок 2.18 - Приземный анализ от 25.04.2021 12 ВСВ

2.2.2 Направление ветра

На метеограммах модели HRES направление ветра определяется по отклонению оперения от северного (0°) направления (рисунок 2.19).

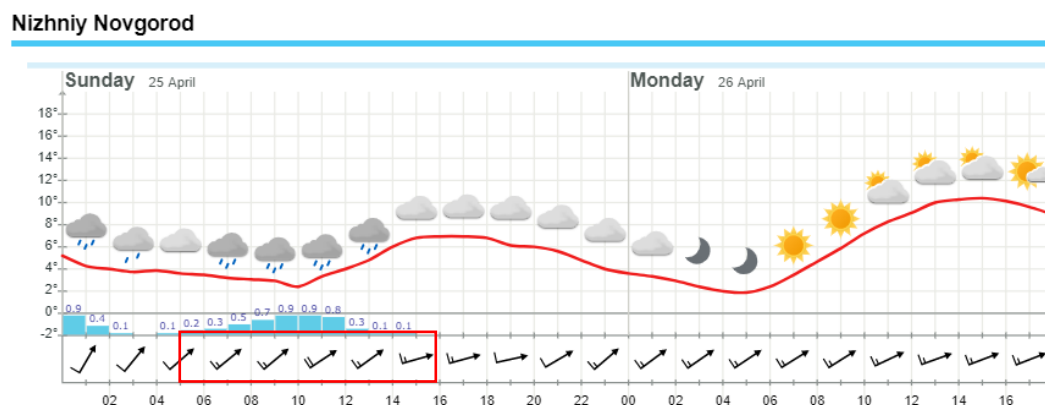


Рисунок 2.19 – Прогноз направления ветра моделью HRES

За каждый исследуемый метеорологический срок было считано прогнозируемое направление ветра с точностью 10° . Те сроки, в которые прогнозировался штиль, не учитывались.

Опираясь на опыт в исследовании успешности прогнозов направления ветра с помощью модели COSMO-RU, было принято решение не использовать матричную систему оценки успешности прогнозов направления ветра моделью HRES.

Был построен график зависимости распределения значения модуля разницы между спрогнозированным и фактическим направлениями ветра от величины спрогнозированного направления ветра (рисунок 2.20).

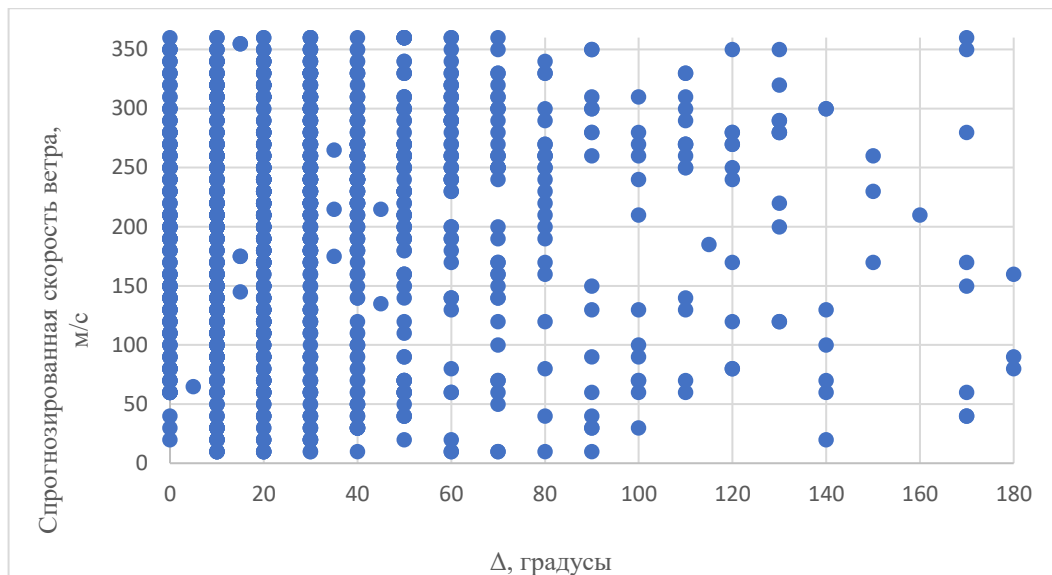


Рисунок 2.20 – Зависимость распределения значения модуля разницы между спрогнозированным и фактическим направлениями ветра от величины спрогнозированного направления ветра

Данный график показывает, что величина ошибки прогнозирования не зависит от прогнозируемой величины. Максимальные ошибки прогноза составили 180° при прогнозируемых 80° , 90° , 160° .

Ошибочное направление 80° было спрогнозировано 12.06.2021 г. Из приземного анализа за 11.06.2021г. от 12 ВСВ (рисунок 2.21) видно, что г. Нижний Новгород находился в зоне действия циклона прямо перед линией надвигающегося теплого фронта [2].

Из приземного анализа от 12.06.2021 г. за 12 ВСВ (рисунок 2.22) видно, что 12.06.2021 г. Нижний Новгород находился в теплом секторе циклона перед линией холодного фронта, перемещающегося с запада. Скорее всего, модель не смогла предусмотреть столь быстрое приближение холодного фронта.

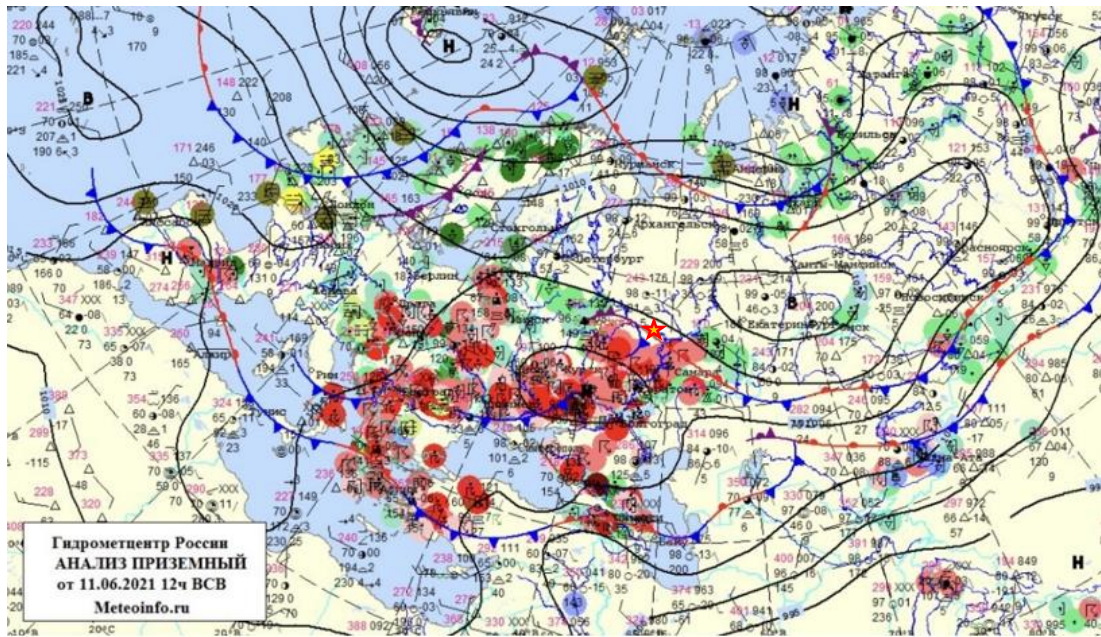


Рисунок 2.21 – Приземный анализ за 11.06.2021 12 ВСВ

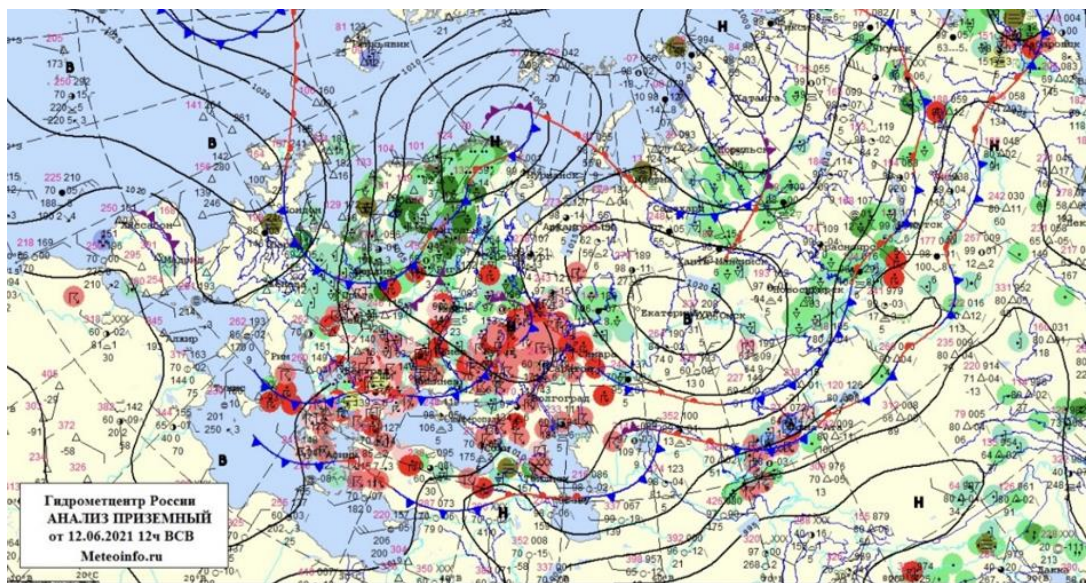


Рисунок 2.22 – Приземный анализ за 23.06.2021 00 ВСВ

За весь исследуемый период было сделано 1545 прогнозов направления ветра, из них 878 были с ошибкой $\Delta \leq 20^\circ$ и 667 прогноз был с ошибкой $\Delta > 20^\circ$.

Далее была посчитана успешность прогноза направления ветра по формуле 2.8:

$$p = (n_{0-20}/N) * 100\%, \quad (2.8)$$

где: n_{0-20} – количество прогнозов с ошибкой от 0° до 20°
 N – общее число прогнозов

Успешность прогнозов направления ветра за весь исследуемый период составила 55,8%. Прогнозы направления ветра моделью HRES на уровне плохих прогнозов (прогнозы неуспешны).

2.2.3 Наличие осадков и их интенсивность

На метеограммах модели HRES осадки определяются по синим столбикам, также над столбиком осадков указывается цифрами интенсивность осадков в мм/ч (рисунок 2.23).

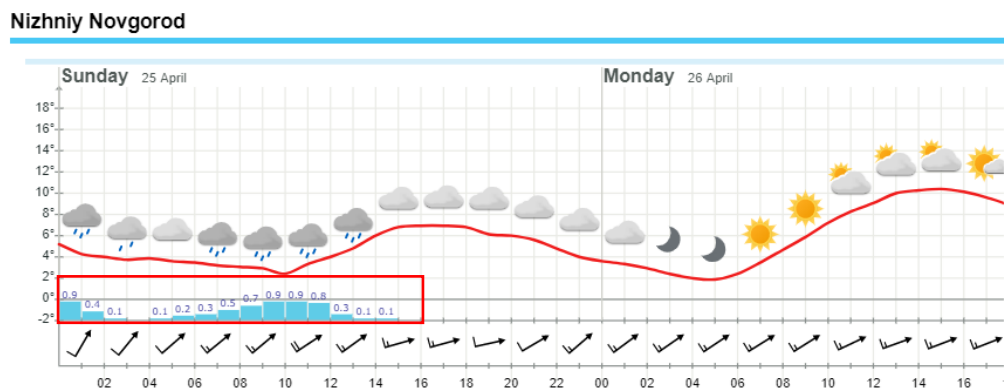


Рисунок 2.18 – Прогноз наличия и интенсивности осадков моделью HRES

Интенсивность осадков также была поделена на следующие градации:

- 0–2,5 мм/ч – слабые
- 2,5–10 мм/ч – умеренные
- > 10 мм/ч – сильные

Далее по полученным данным была построена матрица многофазовых прогнозов (таблица 2.15)

Таблица 2.15 – Матрица сопряженности многофазовых прогнозов интенсивности осадков моделью HRES

	Слабые	Умеренные	Сильные	\bar{P}	
Слабые	142	3	0	96	241
Умеренные	12	0	0	1	13
Сильные	4	0	0	1	5
$\bar{\phi}$	154	3	0	1306	1463
	312	6	0	1404	1722

Из матрицы видно, что из 312 прогнозов слабых осадков, 154 были страховочными, а также из 6 прогнозов умеренных осадков все прогнозы были страховочными. 12 раз были спрогнозированы слабые осадки при фактических умеренных, а также 4 раза был дан прогноз слабых осадков при фактических сильных. Сильные осадки модель не спрогнозировала ни разу, фактически они наблюдались 5 раз (4 раза был дан прогноз с меньшей интенсивностью (слабой), 1 раз модель совершила ошибку-пропуск).

96 раз модель спрогнозировала отсутствие осадков, когда они фактически наблюдались (слабой интенсивности), 1 раз был прогноз отсутствия явления при фактических умеренных осадках и 1 раз был дан прогноз отсутствия явления при фактических сильных осадках. В целом отсутствие явления модель прогнозирует хорошо, половина прогнозов слабой интенсивности является ошибками-страховками, умеренную и сильную интенсивность осадков модель прогнозирует плохо.

Также была рассчитана общая оправдываемость прогнозов p (2.9):

$$p = (n_{11} + n_{22} + n_{33} + n_{44}) / N \quad (2.9)$$

где: n_{11} – элемент 11 матрицы сопряженности многофазовых прогнозов
 n_{22} – элемент 22 матрицы сопряженности многофазовых прогнозов
 n_{33} – элемент 33 матрицы сопряженности многофазовых прогнозов
 n_{44} – элемент 44 матрицы сопряженности многофазовых прогнозов
 N – общее число прогнозов

Общая оправдываемость прогнозов наличия и интенсивности осадков составила 84,1%, что является хорошим результатом. Данный результат обусловлен успешными прогнозами отсутствия явления.

Модель часто дает страховочный прогноз, но в целом наличие осадков прогнозирует хорошо. Лучше прогнозируются слабые осадки, хуже умеренные (ни один из прогнозов не успешен) и сильные осадки, которые модель не спрогнозировала ни разу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было проведено исследование успешности прогнозов метеорологических параметров модели COSMO-RU за период 05.04.2021 – 31.12.2021 гг. и модели HRES за период 10.04.2021 – 31.12.2021 гг. для метеорологического обеспечения аэродрома Стригино, г. Нижний Новгород.

Для достижения поставленной цели были выполнены задачи:

- создан архив данных о фактических метеорологических параметрах атмосферы на аэродроме Стригино за исследуемый период;
- создан архив прогнозов модели COSMO-RU с сайта Росгидромета России по выбранным метеорологическим параметрам за исследуемый период;
- создан архив прогнозов модели HRES с сайта Yr.no по выбранным метеорологическим параметрам за исследуемый период;
- произведена оценка успешности прогнозов метеорологических параметров моделей COSMO-RU и HRES

Выводы:

- *Скорость ветра.* Точность прогноза модели COSMO-RU за период 05.04.2021-31.12.2021 составила 93,9%, модели HRES за период 10.04.2021 – 31.12.2021 – 92%. Таким образом, у обеих моделей прогноз скорости ветра на уровне хороших прогнозов.
- *Направление ветра.* Точность прогноза модели COSMO-RU за период 05.04.2021-31.12.2021 составила 58,8%, модели HRES за период 10.04.2021 – 31.12.2021 – 55,8%, у обеих моделей прогноз направления ветра неуспешен.
- *Наличие осадков и их интенсивность.* Точность прогноза модели COSMO-RU за период 05.04.2021-31.12.2021 составила 79,7%, модели HRES за период 10.04.2021 – 31.12.2021 – 84,1%, у обеих моделей прогноз осадков и их интенсивности на уровне хороших прогнозов.

- *Наличие конвективной облачности.* Точность прогноза модели COSMO-RU за период 05.04.2021-31.12.2021 составила 58,1%, модель очень часто делает ошибки-страховки. Прогноз конвективной облачности моделью COSMO-RU неуспешен.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Е. М. Вербицкая современные методы и технологии прогнозирования метеорологических параметров // методическое пособие по использованию продукции численных прогнозов погоды (для авиационных метеорологов). Хабаровск 2018. С. 2–16.
2. Синоптические карты с фронтальным анализом // ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ URL: <https://meteoinfo.ru/mapsynop> (дата обращения: 05.04.2021 - 31.12.2021).
3. Прогнозы по пунктам (метеограммы) модели COSMO-RU // ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ URL: <https://meteoinfo.ru/cosmo-ru> (дата обращения: 05.04.2021 - 31.12.2021).
4. О консорциуме и модели COSMO // ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ URL: <https://meteoinfo.ru/o-konsortsiume-i-modeli-cosmo> (дата обращения: 01.05.2022).
5. En tjeneste fra Meteorologisk institutt og NRK // Yr URL: <https://www.yr.no/nb> (дата обращения: 10.04.2021 - 31.12.2021).
6. YR Info & support // Yr URL: <https://hjelp.yr.no/hc/no/articles/360004008874-Slik-lager-vi-værvarslene-på-Yr> (дата обращения: 02.05.2022).